

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ СТРУЖКОУБОРОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Бородин М.Ю.¹, Метельков В.П.²

¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия, bmu@k66.ru

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия, v/p/metelkov@urfu.ru

Аннотация — В работе рассматриваются возможности энергосбережения в частотно-регулируемом электроприводе стружкоуборочного конвейера за счет регулирования скорости при поддержании постоянной производительности. Анализ произведен с учетом потерь во всех элементах силового канала электропривода. Рассмотрены вопросы оценки теплового состояния обмотки статора двигателя в процессе регулирования.

Ключевые слова — асинхронный двигатель, конвейер, энергосбережение, нагрев двигателя.

ВВЕДЕНИЕ

В литературе указывается на возможность повышения экономичности приводов конвейеров путем использования средств регулирования скорости [1]. В частности, в [1, 3] показано, что при использовании частотного регулирования скорости конвейера можно добиться снижения его энергопотребления на 26...38 % по сравнению с нерегулируемым электроприводом. Предполагается, что экономия достигается посредством поддержания постоянной производительности конвейера за счет регулирования скорости. Реально вопрос оптимального использования энергии нуждается в уточнении.

В данной работе рассматриваются вопросы энергопотребления в приводе стружкоуборочного конвейера. Это приводы небольшой мощности (от сотен ватт до нескольких киловатт). Вместе с тем, станочный парк в промышленности очень большой, что предопределяет актуальность вопросов энергосбережения в приводах таких конвейеров, несмотря на небольшую мощность отдельного привода.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

В контексте задачи энергосбережения необходимо рассматривать электропривод конвейера как единую систему с учетом потерь в каждом элементе силового канала, включая электродвигатель и преобразователь частоты (ПЧ). При этом следует учитывать, что при поддержании постоянной производительности конвейера, уменьшение скорости приводит к росту момента сопротивления на валу двигателя, что вызывает рост тока в его обмотках с увеличением мощности потерь в них в квадратичной зависимости от тока.

Рассматриваем стружкоуборочный конвейер (скорость ленты 3,8 м/мин, наибольшее тянущее усилие 5000 Н), приводимый в движение асинхронным двигателем 4A90LB8 (1,1 кВт, 700 об/мин), питаемым от преобразователя частоты OMRON-YASKAWA (1,9 кВт). Механическая часть привода содержит червячный редуктор с передаточным числом 104.

Переменные потери момента в червячном редукторе (ΔM_p) считаем пропорциональными входному моменту, редуктора, который в статическом режиме равен моменту на валу двигателя (M_d):

$$\Delta M_p = \Delta M_{p(c)} + k_{vp} M_d, \quad (1)$$

где $\Delta M_{p(c)}$ – постоянная составляющая потеря момента в редукторе; k_{vp} – коэффициент переменных потерь.

При расчете сил сопротивления движению конвейера принимаем линейную аппроксимацию сил трения в его механизме от усилий, необходимых для перемещения груза [2]. Масса сыпного груза на единицу длины обратно пропорциональна скорости движения ленты. Поэтому требуемая мощность (сверх мощности при холостом ходе) не будет зависеть от скорости. Силы сопротивления движению конвейера (F_k) выразим следующим образом:

$$F_k = F_{k,xx} + F_{gp} \quad (2)$$

где $F_{k,xx}$ – сила сопротивления движению конвейера при холостом ходе; $F_{gp} = P_{gpN}/V_k$ – составляющая сил сопротивления движению, определяемых сыпным грузом; V_k – скорость движения конвейера; P_{gpN} – доля мощности, затрачиваемой на транспортировку груза при номинальной скорости.

С учетом (1) и (2) получим выражение для момента на валу двигателя в следующем виде:

$$M_d = (\Delta M_{p(c)} + M_{k,xx} + M_{gp}) / (1 - k_{vp}). \quad (3)$$

Индексы у моментов в выражении (3) совпадают с индексами у сил в (1) и (2). Мощность потерь энергии в механике электропривода рассчитываем как $\Delta P_{мех} = M_d \omega_d$.

При расчете мощности потерь в электродвигателе принимаем следующие допущения:

- Потери в меди статора считаем пропорционален квадрату тока статора (гармониками пренебрегаем);

- Потери в обмотке ротора считаем пропорциональными квадрату тока ротора, т.е. пропорциональными квадрату момента в пределах рабочего участка мех. характеристики;

- Потери в стали статора при частотном регулировании при постоянстве потокосцепления ротора считаем пропорциональными частоте тока статора в степени 1,3 [6];

- Потери в стали ротора пренебрегаем;

- Механические потери приближенно считаем пропорциональными скорости двигателя в степени 3/2 [1];

- Добавочные потери считаем равными 0,5% от номинальной мощности и пропорциональными квадрату тока статора, но относим их греющее влияние к ротору [4]

Также учитываем следующие потери в ПЧ:

- Потери в вентилях выпрямителя (пропорционально току);

- Потери в транзисторах инвертора (пропорционально току);

- Потери в реакторах (пропорционально квадрату тока).

В дальнейших исследованиях следует разделить вклад различного рода потерь при вариации скорости конвейера и интенсивности стружкообразования. Этим можно объяснить наличие минимума потерь и наметить пути повышения энергоэффективности привода конвейеров. В данной работе ограничимся выявлением минимума потерь в условиях ограничений на повышение температуры.

Для исследования теплового состояния двигателя использовалась двухмассовая термодинамическая модель с выделением в качестве одного из ее узлов обмотки статора двигателя, поскольку наиболее критичным к нагреву элементом асинхронного двигателя является изоляция обмотки статора. Параметры этой модели определялись по методике, изложенной в [5].

Температура обмотки статора в установившемся режиме ($\theta_{1уст}$) может быть рассчитана по следующему выражению, которое получаем решением системы уравнений теплового баланса для двухмассовой термодинамической модели в статическом режиме

$$\theta_{1уст} = \theta_0 + \frac{(\lambda_{20} + \lambda_{12})\Delta P_1 + \lambda_{12}\Delta P_2}{(\lambda_{10} + \lambda_{12})(\lambda_{20} + \lambda_{12}) - \lambda_{12}^2}, \quad (4)$$

где θ_0 - температура окружающей среды; ΔP_1 - мощность потерь в обмотке статора; ΔP_2 - мощность потерь в остальной части машины; λ_{10} и λ_{20} - тепловые проводимости в окружающую среду от первого и второго узла термодинамической модели; λ_{12} - тепловая проводимость между этими узлами. Учитывалось изменение теплоотдачи двигателя в окружающую среду при изменении скорости, а также изменение мощности потерь в обмотках статора и ротора из-за температурного изменения сопротивлений.

На рис. 1 показаны графики, иллюстрирующие зависимости суммарной мощности потерь в системе и температуры обмотки статора двигателя от его скорости. Как следует из рис. 1, при определенной скорости двигателя существует минимум суммарной мощности

потерь в системе. Однако, следует отметить, что не во всех случаях этот минимум энергопотребления может быть реально использован из-за ограничений по нагреву двигателя.

На рис. 1 видно, что минимум энергопотребления достигается при скорости двигателя 48 1/с. Однако температура обмотки статора двигателя при этом будет иметь значение выше 120 °С, допустимых по ГОСТ для обмоток статора асинхронного двигателя с изоляцией класса нагревостойкости В, как у используемого двигателя. Данный расчет проводился для $\theta_0=40$ °С, однако, полученный результат свидетельствует о возможности перегрева двигателя и при более холодной окружающей среде в приводах подобных механизмов. Это указывает на необходимость применения специальных мер при использовании рассматриваемого способа оптимизации энергопотребления.

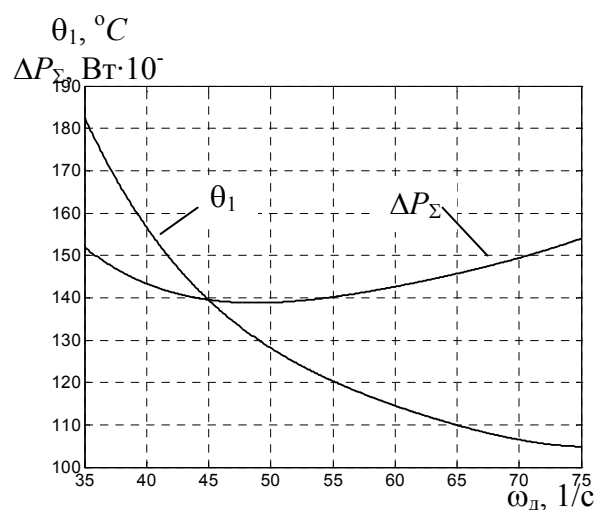


Рис.1. Зависимости суммарной мощности потерь (ΔP_{Σ}) и температуры обмотки статора (θ_1) от скорости двигателя

III. ВЫВООДЫ

Суммируя сказанное, можно заключить, что:

1. При колебаниях интенсивности стружкообразования необходимо регулирование скорости для обеспечения минимизации энергопотребления. Эффект от управления скоростью может составлять порядка 10-15 % снижения потерь;

2. Реальная система регулирования скорости должна производить оценку температурного режима путем мониторинга теплового состояния двигателя в процессе работы;

3. Ограничения на тепловой режим двигателя могут противоречить критерию энергоэффективности, поэтому синтез системы должен производиться с использованием более точных подходов, чем традиционные методы, базирующиеся на представлении электродвигателя как однородного тела.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под. ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
2. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства / В 5 кн. / Под ред. В.А.Веникова. – Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф. Ильинский, Ю.В. Рожанковский, А.О. Горнов. – М.: Высш. Шк., 1989. – 127 с.
3. Бабокин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера // Изв. Вузов. Горный журнал. – 2002. – №1. – С. 122-125.
4. Шрейнер Р.Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления : учеб. пособие для вузов / Р. Т. Шрейнер, А.В. Костылев, В.К. Кривовяз, С.И. Шилин; под ред. проф. д.т.н. Р.Т. Шрейнера. Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т.», 2008. 361 с.
5. Зюзев А.М. Оценка величины тепловой проводимости медь-сталь обмотки статора асинхронного двигателя / Зюзев А.М., Метельков В.П. Межвузовский сборник научных трудов «Электромеханика, электротехнические комплексы и системы». Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2010. С.33-39.
6. Поляков В.Н. Экстремальное управление электрическими двигателями / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер; под общей ред. проф. д.т.н. Р.Т. Шрейнера. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 420 с.